(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2007 年12 月6 日 (06.12.2007)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/138758 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 29/00 (2006.01) *G05B 13/02* (2006.01)
G05B 11/36 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2007/051010

(22) 国際出願日: 2007 年1 月23 日 (23.01.2007)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2006-146727 2006 年5 月26 日 (26.05.2006) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石２番１号 Fukuoka (JP).

(72) 発明者; および

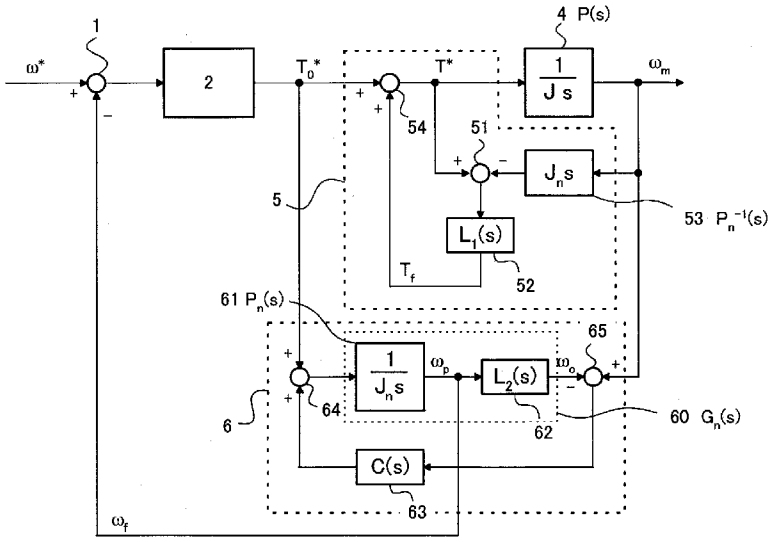
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 張 文農 (ZHANG, Wennong). 沢村 光次郎 (SAWAMURA, Mitsujiro). 竹井 康行 (TAKEI, Yasuyuki).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) **Title:** SERVO CONTROLLER

(54) **発明の名称:** サーボ制御装置



(57) **Abstract:** A servo controller realizing robust speed control of high performance by avoiding adverse influence such as of disturbance or load fluctuation. The servo controller comprises a disturbance observer (5) which adds a disturbance compensation torque T_f determined from the torque command T* and the rotational speed ω_m of the motor to a basis signal T_0* of the torque command determined by a PI control section (2) according to the difference between the speed command ω* and to the feedback speed ω_f and outputs the torque command T*, and a phase advance compensation observer (6) which creates an output of a nominal plant (61) of an element with no lag from the basic signal T_0* of the torque command and the rotational speed ω_m of the motor and outputs the outputs as the feedback speed ω_f.

(57) 要約: 外乱や負荷変動などの悪影響を抑制し、ロバストかつ高性能な速度制御を実現することができるサーボ制御装置を提供する。 速度指令ω^*とフィードバック速度ω_fとの偏差に基づいてＰＩ制御部（２）にて算出されるトルク指令の基本信号T_0^*に、トルク指令T^*と電動機の回転速度ω_m

[続葉有]

WO 2007/138758 A1

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

とから算出される外乱補償トルクT_fを加算してトルク指令T^*を出力する外乱オブザーバ（５）と、 トルク指令の基本信号T_0^*と、電動機の回転速度ω_mとから、遅れが無い要素のノミナルプラント（６１）の出力を生成して該出力をフィードバック速度ω_fとして出力する位相進み補償オブザーバ（６）と、の両方のオブザーバを備えた。

明 細 書

サーボ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、イナーシャが大きく変動する負荷機械をフィードバック駆動制御するサーボ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 通常のサーボ装置の速度制御は電動機の回転速度をフィードバックしてPI制御を用いて行い、良い制御性能を達成するために電動機の回転子を含む機械可動部の総イナーシャを正確に知る必要がある。しかしながら、負荷機械のイナーシャの変動や推定誤差が大きい場合に、制御系の一巡ループのゲインが大きく変わるので、制御系の特性が大きく変わりロバストな高性能の制御が実現できないことがある。

第1の従来技術は、外乱やパラメータ変動などを抑制できることとして公知されている外乱オブザーバを用いることである(例えば、非特許文献1参照)。図3は第1の従来技術を用いたサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。図において、4は電動機の回転子および負荷機械を含む実際のプラントで、トルク指令から電動機の回転速度までの伝達関数が示されている。また、5は外乱オブザーバであり、ノミナルプラントの逆システム53と第1ローパスフィルタ52を含んでいる。また、2はPI制御部である。

また、ω^*は速度指令、ω_mは電動機の回転速度、T^*はトルク指令、T_0^*はトルク指令の基本信号、T_fは外乱補償トルク、Jは実際のプラントのイナーシャ、J_nはノミナルプラントのイナーシャ、sはラプラス演算子である。

次に、動作原理について説明する。簡単のため、第1ローパスフィルタ52を式(1)で表される1次ローパスフィルタとする。

[0003] [数1]

$$L_1(s) = \frac{1}{1+T_1 s} \qquad (1)$$

ここで、T_1は第1ローパスフィルタの時定数である。トルク指令の基本信号T_0^*から電

動機の回転速度ω_mまでの等価制御対象の伝達関数$G_o(s, J)$を求めると、式(2)になる。

[0004] [数2]

$$G_o(s,J)=\frac{\omega_m(s)}{T_0^*(s)}=\frac{1+T_1 s}{1+(J/J_n)T_1 s}\cdot\frac{1}{J_n s} \qquad (2)$$

また、等価ローパスフィルタを式(3)で表されるものとする。

[0005] [数3]

$$L_o(s,J)=\frac{1+T_1 s}{1+(J/J_n)T_1 s} \qquad (3)$$

よって、図3の制御システムを図4のように書き直すことができる。式(3)および図4により、T_1を十分小さく設定すれば、等価ローパスフィルタの影響を無視することができるため、等価制御対象$G_o(s, J)$とノミナルプラント$P_n(s)$は低周波数域での周波数特性がほぼ同じであるので、イナーシャが変わっても指令に対する追従特性が変わらない。

第2の従来技術は、本出願人が提案した遅れ要素の位相遅れを補償する位相進み補償オブザーバを用いることである(例えば、特許文献1参照)。図5は第2の従来技術を用いたサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。図において、9は実際の制御対象であり、実際のローパスフィルタ3と実際のプラント4を含んでおり、6は位相進み補償オブザーバであり、ノミナルプラント61および第2ローパスフィルタ62で構成されたオブザーバの制御対象60とオブザーバ補償器63と含んでいる。また、図3の相当部分は同一記号を付してその説明を省略する。

次に、動作原理について説明する。実際の制御対象では、実際のローパスフィルタ3の出力を実際のプラント4に入力することで、オブザーバの制御対象60では、ノミナルプラント61の出力を第2ローパスフィルタ62に入力することになっている。そのため、$L_2(s)=L(s)$, $J_n=J$が満たされる場合に、第2ローパスフィルタ62の出力であるω_oは電動機の回転速度ω_mの推定速度になっているため、第2ローパスフィルタ62の入力である位相進み推定速度ω_pは電動機の回転速度ω_mより第2ローパスフィルタの

遅れた位相量で位相進みになっている。従って、位相進み推定速度ω_pをフィードバック速度ω_fとすると、位相進み補償オブザーバがない場合に実際のローパスフィルタ3の位相遅れによる制御性能の悪化問題が解消される。

非特許文献1:T. IEE Japan, Vol. 117－C, No. 12, 1997, p. 1776－1781

特許文献1:特開2002－182705号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、第1の従来技術では、観測された電動機の回転速度をノミナルプラントの逆システムに通してトルク指令にフィードバックしているため、通常のPI制御を用いた場合と較べ、観測ノイズの影響が大きくなる。特に負荷機械のイナーシャが小さい場合にその影響が大きい。観測ノイズに対するフィルタリング特性を強く、すなわちノイズ除去特性を良くするため、負荷機械のイナーシャが小さい場合に合わせて第1ローパスフィルタの時定数を大きく設定する必要がある。一方、負荷機械のイナーシャが小さい場合に合わせて第1ローパスフィルタの時定数を設定すると、負荷機械のイナーシャが大きくなる場合にフィードバック制御系に位相遅れが大きい遅れ要素が存在するため、PI制御器のゲインを上げられなく制御特性を向上させることができない。したがって、ロバスト特性とノイズ除去特性を両立させることができないという欠点があった。

また、第2の従来技術では、フィードバック制御系の位相遅れを補償できる前提はオブザーバの制御対象と実際の制御対象との低周波数域における周波数特性がほぼ同じであることである。負荷機械のイナーシャが大きく変動する場合に、ノミナルプラントのイナーシャが実際のプラントから大きく外れることがあり、その時位相進み補償オブザーバの推定速度が電動機の回転速度から大きく外れるので入出力特性が悪くなるという問題があった。

そこで、本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、外乱オブザーバと位相進み補償オブザーバを組み合わせることにより、ノイズの影響を許容できる範囲に抑え、外乱や負荷変動などの悪影響を抑制し、ロバストかつ高性能な速度制御を実現することができるサーボ制御装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記問題を解決するため、本発明は、電動機の回転速度を速度指令に追従させるサーボ制御装置において、普通のPI制御系に外乱オブザーバと位相進み補償オブザーバを組み込み、外乱オブザーバのローパスフィルタの時定数を実際のプラントのイナーシャが最小になった場合にノイズ除去特性が満たされるように設定し、位相進み補償オブザーバのローパスフィルタの時定数を外乱オブザーバのローパスフィルタの時定数に実際のプラントのイナーシャの最大値とノミナルプラントのイナーシャとの比を掛けて得た値とし、また、電動機の回転速度より等価ローパスフィルタの遅れた位相量以上で位相進みになっている位相進み推定速度をフィードバック速度とするものである。

発明の効果

[0008] 本発明は、外乱オブザーバを用いることで、外乱や負荷変動などの悪影響を抑制し、また、位相進み補償オブザーバを組み込むことでフィードバック制御系の位相遅れを補償することにより、ロバストかつ高性能な速度制御を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の第1実施例を示すサーボ制御装置のブロック図

[図2]本発明の第2実施例を示すサーボ制御装置のブロック図

[図3]第1の従来技術を用いたサーボ制御装置の構成を示すブロック図

[図4]図3の等価ブロック図

[図5]第2の従来技術を用いたサーボ制御装置の構成を示すブロック図

[図6]図1、図2および図10～12の等価ブロック図

[図7]通常のPI制御を用いたサーボ制御装置のシミュレーション結果を示す図

[図8]第1の従来技術を用いたサーボ制御装置のシミュレーション結果を示す図

[図9]本発明の技術を用いたサーボ制御装置のシミュレーション結果を示す図

[図10]本発明の第3実施例を示すサーボ制御装置のブロック図

[図11]本発明の第4実施例を示すサーボ制御装置のブロック図

[図12]本発明の第5実施例を示すサーボ制御装置のブロック図

符号の説明

[0010] 1、51、64、65 減算器

2 PI制御部

3 実際のローパスフィルタ

4 実際のプラント

5 外乱オブザーバ

52 第1ローパスフィルタ

53 ノミナルプラントの逆システム

54 加算器

55 第3ローパスフィルタ

6 位相進み補償オブザーバ

60 オブザーバの制御対象

61 ノミナルプラント

62 第2ローパスフィルタ

63 オブザーバ補償器

7 等価ローパスフィルタ

8 等価制御対象

9 実際の制御対象

発明を実施するための最良の形態

[0011] 以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。

実施例 1

[0012] 図1は、本発明の第1実施例を示すサーボ制御装置のブロック図であり、各部には、図3および図5の相当部分と同一記号を付してその説明を省略する。また、実際のプラントのイナーシャJの最小値をJ_mとし、最大値をJ_Mとする。本発明は第1の従来技術と第2の従来技術を巧みに組み合わせたものである。

以下、本発明の制御装置の動作原理および構成方法について説明する。

前記第1の従来技術の説明と同じようにトルク指令の基本信号T_0^*から電動機の回転速度ω_mまでの等価制御対象8の伝達関数$G_o(s, J)$を求めると、図1の制御システ

ムを図6のように書き直すことができる。ここで、等価制御対象8のイナーシャが一定な値であるノミナルイナーシャJ_nになった。等価ローパスフィルタ$L_o(s, J)$の時定数が式(3)に示したように実際のプラントのイナーシャJにより変わるが、オブザーバの制御対象$G_n(s)$と等価制御対象$G_o(s, J)$とは低周波数域における周波数特性がほぼ同じである。

実際のプラントのイナーシャJが最小値J_mとなった場合に、もし、$J_n > J_m$とすると、式(3)および図6より、等価ローパスフィルタ$L_o(s, J)$は直列位相進み要素になったので、高周波数振動を起こし易くなる。そのため、ノミナルイナーシャJ_nを

$$J_n \leqq J_m \qquad (4)$$

とする。また、このとき観測ノイズの影響が一番大きいので、第1ローパスフィルタ$L_1(s)$の時定数をノイズ除去特性が満たされるようにできるだけの最小値に設定する。

実際のプラントのイナーシャJが最大値J_Mとなった場合に、等価ローパスフィルタは式(5)となる。

[0013] [数4]

$$L_o(s, J_M) = \frac{1 + T_1 s}{1 + (J_M / J_n) T_1 s} \qquad (5)$$

このとき、等価ローパスフィルタの位相遅れが一番大きいので、第2ローパスフィルタ$L_2(s)$を式(6)とする。

[0014] [数5]

$$L_2(s) = L_o(s, J_M) = \frac{1 + T_1 s}{1 + (J_M / J_n) T_1 s} \qquad (6)$$

したがって、すべての実際のプラントのイナーシャJに対して、$L_o(s, J)$の位相遅れが$L_2(s)$のより小さいため、$L_2(s)$の入力である位相進み推定速度ω_pは電動機の回転速度ω_mより$L_o(s, J)$の遅れた位相量以上で位相進みになっている。また、位相進み推定速度ω_pをフィードバック速度ω_fとしているので、位相進み補償オブザーバがない場合に$L_o(s, J)$の位相遅れによる振動や不安定な問題が解消される。

また、$J_M >> J_n$が満たされる場合に、$L_2(s)$を式(7)で表される1次ローパスフィルタ

とすることができる。

[0015] [数6]

$$L_2(s)=\frac{1}{1+T_2 s} \qquad (7)$$

ただし、$T_2=(J_M/J_n)T_1$ (8)

となる。

このように、外乱オブザーバを用いて、実際の制御対象G(s)を、イナーシャが変動する実際のプラントP(s)から、等価的にイナーシャが一定であるノミナルプラントPn(s)と、時定数が実際のプラントのイナーシャによって変わる等価ローパスフィルタLo(s,J)とに変換し、また、位相進み補償オブザーバを用いて、等価ローパスフィルタの位相遅れを補償することにより、実際のプラントのイナーシャが大きく変わっても、ロバストかつ高性能な速度制御を実現することができる。

実施例 2

[0016] 図2は、本発明の第2実施例を示すサーボ制御装置のブロック図である。

本実施例が第1実施例と異なる部分は、減算器51の出力に接した第1ローパスフィルタ52を加算器54の出力に移し替えたことである。

次に、動作原理について説明する。

トルク指令の基本信号T_0^*から電動機の回転速度ω_mまでの等価制御対象$G_o(s,J)$の伝達関数を求めると、式(9)となる。

[0017] [数7]

$$G_o(s,J)=\frac{\omega_m(s)}{T_0^*(s)}=\frac{1}{1+(J/J_n)T_1 s}\cdot\frac{1}{J_n s} \qquad (9)$$

また、等価ローパスフィルタ7を式(10)で表されるものとする。

[0018] [数8]

$$L_o(s,J)=\frac{1}{1+T_o s} \qquad (10)$$

ただし、$T_o=(J/J_n)T_1$ (11)

は等価ローパスフィルタ7の時定数である。よって、実施例1と同じく図2の制御システムを図6のように書き直すことができる。

$L_2(s)$を式(12)で表される1次ローパスフィルタとする。

[0019] [数9]

$$L_2(s) = \frac{1}{1+T_2 s} \qquad (12)$$

ただし、$T_2 = (J_M / J_n) T_1$ (13)

となる。

したがって、すべての実際のプラントのイナーシャJに対して、$L_o(s, J)$の位相遅れが$L_2(s)$のより小さいため、$L_2(s)$の入力である位相進み推定速度ω_pは電動機の回転速度ω_mより$L_o(s, J)$の遅れた位相量以上で位相進みになっている。また、位相進み推定速度ω_pをフィードバック速度ω_fとしているので、位相進み補償オブザーバがない場合に$L_o(s, J)$の位相遅れによる振動や不安定な問題が解消される。

このように、第1実施例と較べ、等価ローパスフィルタは位相遅れが少し大きくなるが、PI制御器2から入って来たノイズ成分を除去することができる。

実施例 3

[0020] 図10は、本発明の第3実施例を示すサーボ制御装置のブロック図である。

本実施例が第1実施例と異なる部分は、減算器51の出力に接した第1ローパスフィルタ52をトルク指令T^*と減算器51との間に移し替え、そしてノミナルプラントの逆システム53と減算器51との間に第3ローパスフィルタ55を追加したことである。

次に、動作原理について説明する。

第1ローパスフィルタ52を式(1)で表される1次ローパスフィルタとし、第3ローパスフィルタ55を式(14)で表される1次ローパスフィルタとする。

[0021] [数10]

$$L_3(s) = \frac{1}{1+T_3 s} \qquad (14)$$

ここで、T_3は第3ローパスフィルタの時定数である。

トルク指令の基本信号T_0^*から電動機の回転速度ω_mまでの等価制御対象$G_o(s, J)$の伝達関数を求めると、式(15)となる。

[0022] [数11]

$$G_o(s,J)=\frac{\omega_m(s)}{T_0^*(s)}=\frac{(1+T_1s)(1+T_3s)}{1+(1+J/J_n)T_1s+J/J_n\cdot T_1T_3s^2}\cdot\frac{1}{J_ns} \qquad (15)$$

また、等価ローパスフィルタ7を式(16)で表されるものとする。

[0023] [数12]

$$L_o(s,J)=\frac{(1+T_1s)(1+T_3s)}{1+(1+J/J_n)T_1s+J/J_n\cdot T_1T_3s^2} \qquad (16)$$

よって、実施例1と同じく図10の制御システムを図6のように書き直すことができる。

また、$L_2(s)$を式(17)で表されるローパスフィルタとする。

[0024] [数13]

$$L_2(s)=L_o(s,J_M)=\frac{(1+T_1s)(1+T_3s)}{1+(1+J_M/J_n)T_1s+J_M/J_n\cdot T_1T_3s^2} \qquad (17)$$

したがって、すべての実際のプラントのイナーシャJに対して、$L_o(s, J)$の位相遅れが$L_2(s)$のより小さいため、$L_2(s)$の入力である位相進み推定速度ω_pは電動機の回転速度ω_mより$L_o(s, J)$の遅れた位相量以上で位相進みになっている。また、位相進み推定速度ω_pをフィードバック速度ω_fとしているので、位相進み補償オブザーバがない場合に$L_o(s, J)$の位相遅れによる振動や不安定な問題が解消される。

また、$J_M >> J_n$が満たされる場合に、$L_2(s)$を式(18)で表される1次ローパスフィルタとすることができる。

[0025] [数14]

$$L_2(s)=\frac{1}{1+T_2s} \qquad (18)$$

ただし、$T_2=(J_M/J_n)T_1$ (19)

となる。

式(17)、式(18)および式(19)より、第1ローパスフィルタ52のパラメータが制御系

のロバスト特性に大きく影響するが、第3ローパスフィルタ55のパラメータがあまり制御系のロバスト特性に影響しない。ところが、検出された電動機の回転速度ω_mに含まれているノイズ成分がノミナルプラントシステム53により増幅され第3ローパスフィルタ55を通してトルク指令に加えるため、第3ローパスフィルタ55のパラメータ設定が制御系の外乱除去特性に大きく影響する。

第1ローパスフィルタ52と第3ローパスフィルタ55とを同じものとすると、図10の本実施例と図1の第1実施例とは完全に等価的になる。ところが、本実施例は、第1実施例と較べ、制御系が少し複雑になるが、第1ローパスフィルタ52のパラメータと第3ローパスフィルタ55のパラメータとを別々設定することにより、より強いロバスト特性とより良好なノイズ除去特性を両立させることができる。

また、図10において、第3ローパスフィルタ55を実際のプラント4の前に移すことができる。そうすることで、ループ全体にとって位相遅れが少し増えるが、トルク指令の基本信号T_0^*から入ってくるノイズ成分を除去する効果を高めることができる。

実施例 4

[0026] 図11は、本発明の第4実施例を示すサーボ制御装置のブロック図である。

本実施例が第1実施例と異なる部分は、ノミナルプラントの逆システム53と減算器51との間に第3ローパスフィルタ55を追加したことである。

次に、動作原理について説明する。

第1ローパスフィルタ52を式(1)で表される1次ローパスフィルタとし、第3ローパスフィルタ55を式(20)で表される1次ローパスフィルタとする。

[0027] [数15]

$$L_3(s) = \frac{1}{1+T_3 s} \qquad (20)$$

ここで、T_3は第3ローパスフィルタの時定数である。

トルク指令の基本信号T_0^*から電動機の回転速度ω_mまでの等価制御対象$G_o(s, J)$の伝達関数を求めると、式(21)となる。

[0028] [数16]

$$G_o(s,J)=\frac{\omega_m(s)}{T_0^*(s)}=\frac{(1+T_1s)(1+T_3s)}{1+J/J_n\cdot T_1s+J/J_n\cdot T_1T_3s^2}\cdot\frac{1}{J_ns} \qquad (21)$$

また、等価ローパスフィルタ7を式(22)で表されるものとする。

[0029] [数17]

$$L_o(s,J)=\frac{(1+T_1s)(1+T_3s)}{1+J/J_n\cdot T_1s+J/J_n\cdot T_1T_3s^2} \qquad (22)$$

よって、実施例1と同じく図11の制御システムを図6のように書き直すことができる。

また、$L_2(s)$を式(23)で表されるローパスフィルタとする。

[0030] [数18]

$$L_2(s)=L_o(s,J_M)=\frac{(1+T_1s)(1+T_3s)}{1+J_M/J_n\cdot T_1s+J_M/J_n\cdot T_1T_3s^2} \qquad (23)$$

したがって、すべての実際のプラントのイナーシャJに対して、$L_o(s, J)$の位相遅れが$L_2(s)$のより小さいため、$L_2(s)$の入力である位相進み推定速度ω_pは電動機の回転速度ω_mより$L_o(s, J)$の遅れた位相量以上で位相進みになっている。また、位相進み推定速度ω_pをフィードバック速度ω_fとしているので、位相進み補償オブザーバがない場合に$L_o(s, J)$の位相遅れによる振動や不安定な問題が解消される。

また、$J_M>>J_n$が満たされる場合に、$L_2(s)$を式(24)で表される1次ローパスフィルタとすることができる。

[0031] [数19]

$$L_2(s)=\frac{1}{1+T_2s} \qquad (24)$$

ただし、$T_2=(J_M/J_n)T_1$ (25)

となる。

式(23)、式(24)および式(25)より、第1ローパスフィルタ52のパラメータが制御系のロバスト特性に大きく影響するが、第3ローパスフィルタ55のパラメータがあまり制御系のロバスト特性に影響しない。一方、検出された電動機の回転速度ω_mに含まれているノイズ成分がノミナルプラントシステム53により増幅され第3ローパスフィルタ55

および第1ローパスフィルタ52を通してトルク指令に加えるため、第3ローパスフィルタ55と第1ローパスフィルタ52との両方のパラメータが制御系の外乱除去特性に影響する。よって、第1ローパスフィルタ52のパラメータを適当に設定することにより制御系のロバスト特性を向上し、また第3ローパスフィルタ55のパラメータを適当に設定することにより制御系の外乱除去特性を向上することができる。

このように、第1実施例と較べ、制御系が少し複雑になるが、ロバスト特性をあまり影響しないようにノイズ除去特性を考慮することができるので、さらに制御特性を向上させることができる。

また、図11において、第3ローパスフィルタ55を実際のプラント4の前に移すことができる。そうすることで、ループ全体にとって位相遅れが少し増えるが、トルク指令の基本信号T_0^*から入ってくるノイズ成分を除去する効果を高めることができる。

実施例 5

[0032] 図12は、本発明の第5実施例を示すサーボ制御装置のブロック図である。

本実施例が第2実施例と異なる部分は、ノミナルプラントの逆システム53と減算器51との間に第3ローパスフィルタ55を追加したことである。

次に、動作原理について説明する。

第1ローパスフィルタ52を式(1)で表される1次ローパスフィルタとし、第3ローパスフィルタ55を式(26)で表される1次ローパスフィルタとする。

[0033] [数20]

$$L_3(s)=\frac{1}{1+T_3 s} \qquad (26)$$

ここで、T_3は第3ローパスフィルタの時定数である。

トルク指令の基本信号T_0^*から電動機の回転速度ω_mまでの等価制御対象$G_o(s, J)$の伝達関数を求めると、式(27)となる。

[0034] [数21]

$$G_o(s,J)=\frac{\omega_m(s)}{T_0^*(s)}=\frac{(1+T_3 s)}{1+J/J_n\cdot T_1 s+J/J_n\cdot T_1 T_3 s^2}\cdot\frac{1}{J_n s} \qquad (27)$$

また、等価ローパスフィルタ7を式(28)で表されるものとする。

[0035] [数22]

$$L_o(s,J)=\frac{(1+T_1 s)}{1+J/J_n\cdot T_1 s+J/J_n\cdot T_1T_3 s^2} \qquad (28)$$

よって、実施例2と同じく図12の制御システムを図6のように書き直すことができる。

また、$L_2(s)$を式(29)で表されるローパスフィルタとする。

[0036] [数23]

$$L_2(s)=L_o(s,J_M)=\frac{(1+T_1 s)}{1+J_M/J_n\cdot T_1 s+J_M/J_n\cdot T_1T_3 s^2} \qquad (29)$$

したがって、すべての実際のプラントのイナーシャJに対して、$L_o(s, J)$の位相遅れが$L_2(s)$のより小さいため、$L_2(s)$の入力である位相進み推定速度ω_pは電動機の回転速度ω_mより$L_o(s, J)$の遅れた位相量以上で位相進みになっている。また、位相進み推定速度ω_pをフィードバック速度ω_fとしているので、位相進み補償オブザーバがない場合に$L_o(s, J)$の位相遅れによる振動や不安定な問題が解消される。

また、$J_M >> J_n$が満たされる場合に、$L_2(s)$を式(30)で表される1次ローパスフィルタとすることができる。

[0037] [数24]

$$L_2(s)=\frac{1}{1+T_2 s} \qquad (30)$$

ただし、$T_2=(J_M/J_n)T_1$ (31)

となる。

式(29)、式(30)および式(31)より、第1ローパスフィルタ52のパラメータが制御系のロバスト特性に大きく影響するが、第3ローパスフィルタ55のパラメータがあまり制御系のロバスト特性に影響しない。一方、検出された電動機の回転速度ω_mに含まれているノイズ成分がノミナルプラントシステム53により増幅され第3ローパスフィルタ55および第1ローパスフィルタ52を通してトルク指令に乗るため、第3ローパスフィルタ55と第1ローパスフィルタ52との両方のパラメータが制御系の外乱除去特性に影響する。よって、第1ローパスフィルタ52のパラメータを適当に設定することにより制御系の

ロバスト特性を向上し、また第3ローパスフィルタ55のパラメータを適当に設定することにより制御系の外乱除去特性を向上することができる。

このように、第2実施例と較べ、制御系が少し複雑になるが、ロバスト特性をあまり影響しないようにノイズ除去特性を考慮することができるので、さらに制御特性を向上させることができる。

また、図12において、第3ローパスフィルタ55を実際のプラント4の前に移すことができる。そうすることで、ループ全体にとって位相遅れが少し増えるが、トルク指令の基本信号T_0^*から入ってくるノイズ成分を除去する効果を高めることができる。

[0038] 次に、本発明の効果を具体例を用いて説明する。イナーシャが20倍変動する実際のプラントに対して、通常のPI制御、第1の従来技術および本発明の技術を用いたシミュレーション結果をそれぞれ図7、図8および図9に示す。通常のPI制御および第1の従来技術を用いた場合と較べ、本発明の技術を用いた場合は、イナーシャが大きく変動しても、オーバーショットが少なくしかも整定時間が短いという指令に対する高性能な追従特性が殆ど変わらないことが分かる。

産業上の利用可能性

[0039] 通常のPI制御系にノミナルプラントの逆システムを含む外乱オブザーバとノミナルプラントを含む位相進み補償オブザーバとを組み合わせることで実際のプラントのパラメータ変動を補償することによって、ロバストかつ高性能な制御を実現することができるので、サーボのみならず、如何なるノミナルプラントが非最小位相システムで表されパラメータが大きく変動するシステムに対して、ロバストかつ高性能に指令に追従するという用途にも適用できる。

請求の範囲

[1] 速度指令とフィードバック速度との偏差に基づいてトルク指令の基本信号を計算するPI制御部を有し、トルク指令に基づいて電動機および負荷機械を駆動制御するサーボ制御装置において、

前記トルク指令の基本信号および前記電動機の回転速度に基づいて前記トルク指令を出力する外乱オブザーバと、

前記トルク指令の基本信号と、前記電動機の回転速度とから、遅れが無い要素のノミナルプラントの出力を生成して該出力を前記フィードバック速度として出力する位相進み補償オブザーバと、の両方のオブザーバを備えたことを特徴とするサーボ制御装置。

[2] 前記外乱オブザーバは、前記電動機の回転速度をノミナルプラントの逆システムに入力し、前記トルク指令から前記ノミナルプラントの逆システムの出力を差し引いて得た値を外乱推定信号とし、該外乱推定信号を第1ローパスフィルタに入力し、該第1ローパスフィルタの出力を前記トルク指令の基本信号に足して、前記トルク指令とすることを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

[3] 前記外乱オブザーバは、前記電動機の回転速度をノミナルプラントの逆システムに入力し、前記トルク指令から前記ノミナルプラントの逆システムの出力を差し引いて得た値を外乱推定信号とし、該外乱推定信号を前記トルク指令の基本信号に足して第1ローパスフィルタに入力し、該第1ローパスフィルタの出力を前記トルク指令とすることを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

[4] 前記外乱オブザーバは、前記トルク指令を第1ローパスフィルに入力し、前記電動機の回転速度をノミナルプラントの逆システムに入力し、前記ノミナルプラントの逆システムの出力を第3ローパスフィルタに入力し、前記第1ローパスフィルの出力から前記第3ローパスフィルタの出力を差し引いて得た値を外乱推定信号とし、該外乱推定信号を前記トルク指令の基本信号に足して、前記トルク指令とすることを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

[5] 前記外乱オブザーバは、前記電動機の回転速度をノミナルプラントの逆システムに入力し、前記ノミナルプラントの逆システムの出力を第3ローパスフィルタに入力し、

前記トルク指令から前記第3ローパスフィルタの出力を差し引いて得た値を外乱推定信号とし、該外乱推定信号を第1ローパスフィルタに入力し、該第1ローパスフィルタの出力を前記トルク指令の基本信号に足して、前記トルク指令とすることを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

[6] 前記外乱オブザーバは、前記電動機の回転速度をノミナルプラントの逆システムに入力し、前記ノミナルプラントの逆システムの出力を第3ローパスフィルタに入力し、前記トルク指令から前記第3ローパスフィルタの出力を差し引いて得た値を外乱推定信号とし、該外乱推定信号を前記トルク指令の基本信号に足して第1ローパスフィルタに入力し、該第1ローパスフィルタの出力を前記トルク指令とすることを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

[7] 前記位相進み補償オブザーバは、前記電動機の回転速度と第2ローパスフィルタの出力との偏差をオブザーバ補償器に入力し、前記トルク指令の基本信号に前記オブザーバ補償器の出力を足して得た信号を前記ノミナルプラントに入力し、該ノミナルプラントの出力を前記第2ローパスフィルタに入力しながら、前記フィードバック速度として出力することを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

[8] 前記第1ローパスフィルタの時定数を、前記電動機の回転子および前記負荷機械を含む実際のプラントのイナーシャが最小になった場合に安定性およびノイズ除去特性が満たされた上でできるだけ小さく設定することを特徴とする請求項2または3記載のサーボ制御装置。

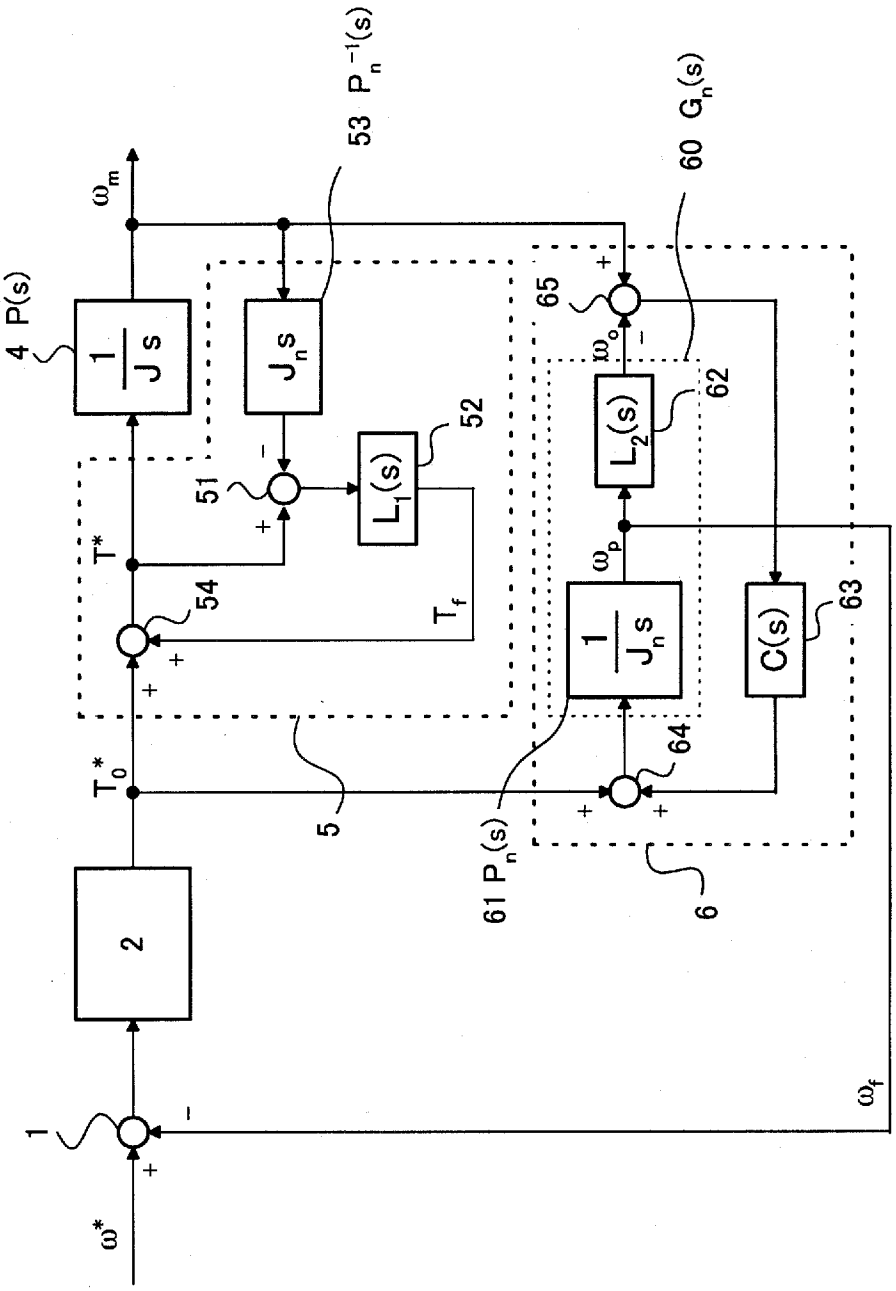
[9] 前記第1ローパスフィルタの時定数および前記第3ローパスフィルタの時定数を、前記電動機の回転子および前記負荷機械を含む実際のプラントのイナーシャが最小になった場合に安定性およびノイズ除去特性が満たされた上でできるだけ小さく設定することを特徴とする請求項4～6記載のサーボ制御装置。

[10] 前記第2ローパスフィルタの時定数を、前記第1ローパスフィルタの時定数に、前記電動機の回転子および前記負荷機械を含む実際のプラントのイナーシャの最大値とノミナルプラントのイナーシャとの比を掛けて得た値とすることを特徴とする請求項7記載のサーボ制御装置。

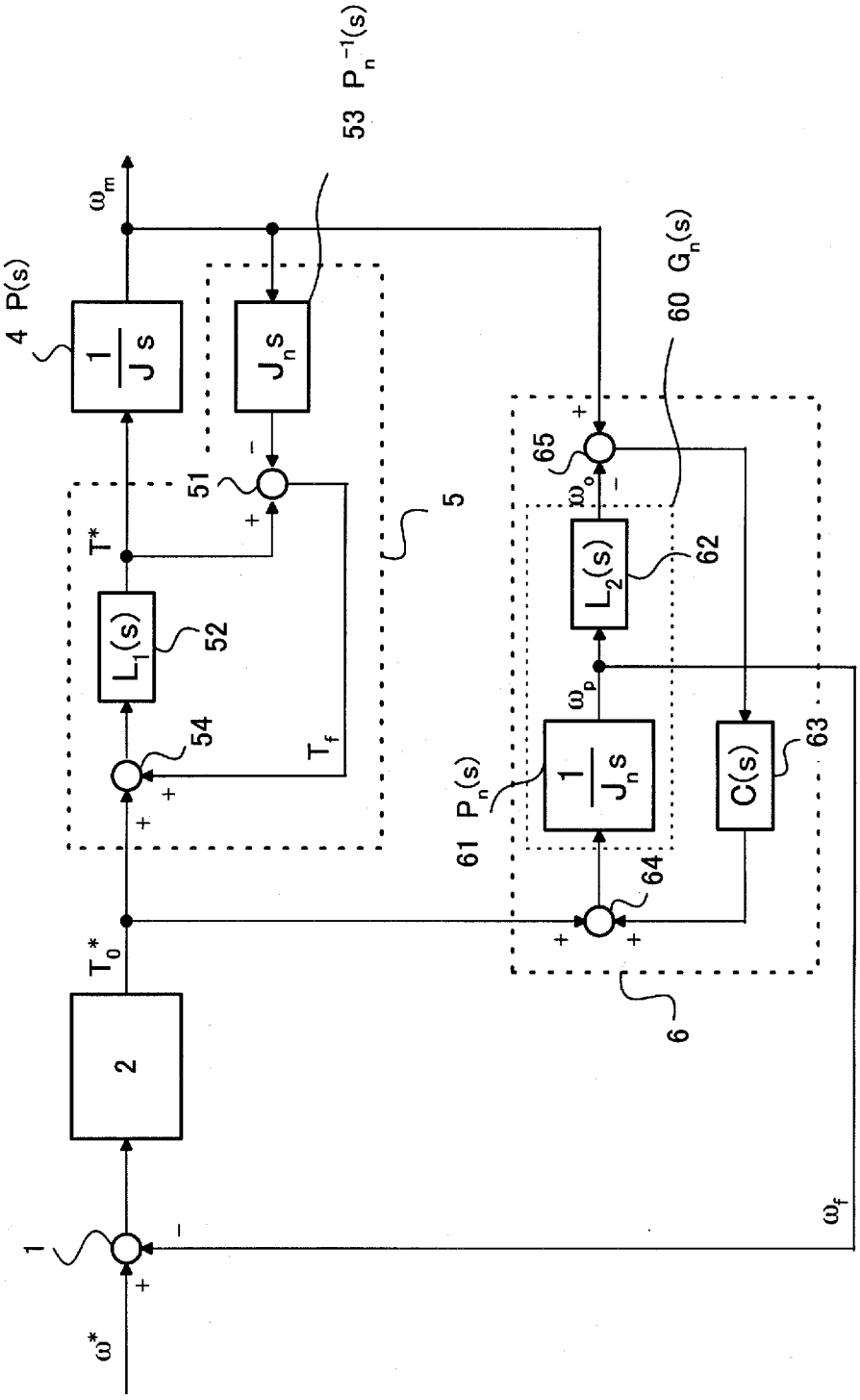
[11] 前記ノミナルプラントのイナーシャを、前記実際のプラントのイナーシャの最小値以

下とすることを特徴とする請求項10記載のサーボ制御装置。

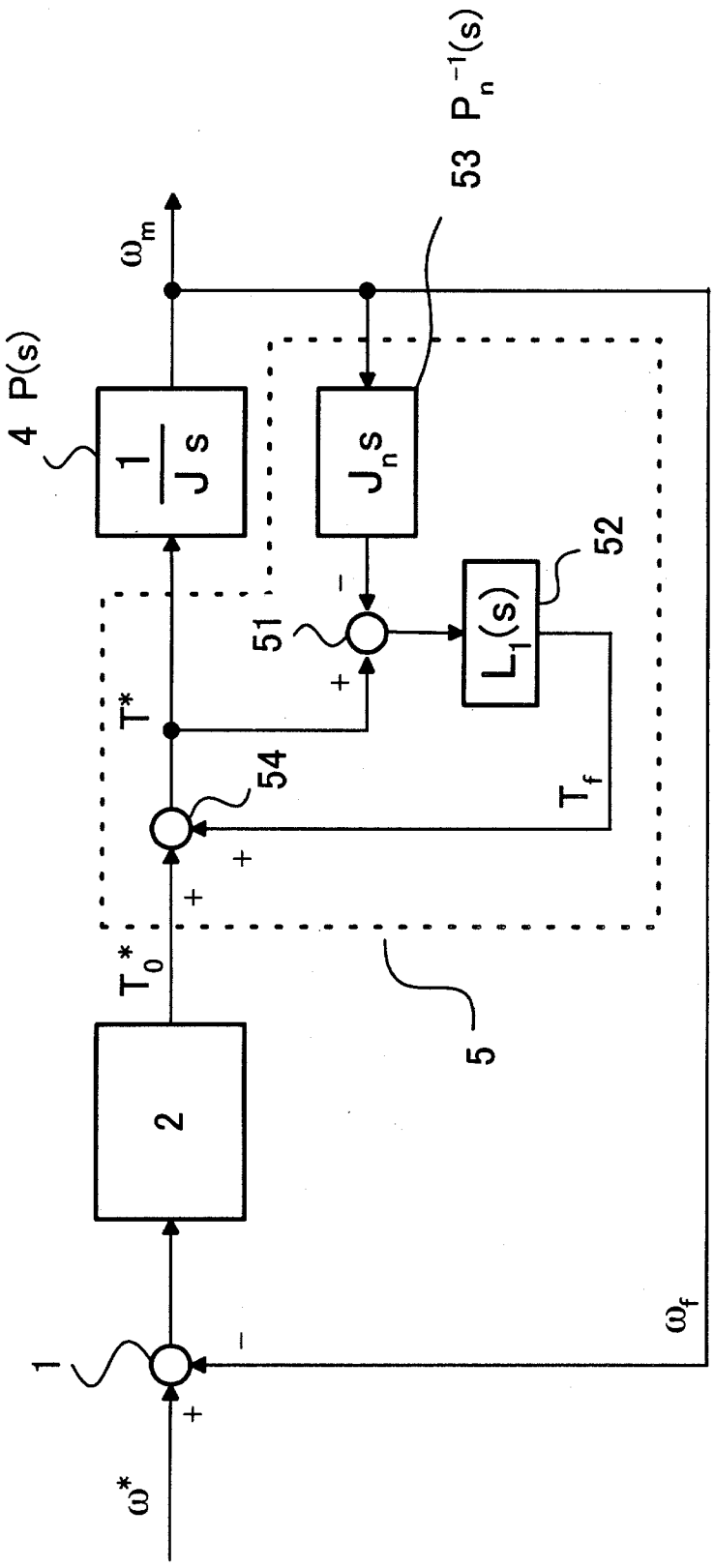
[図1]


ω*
1
2
4 P(s)
ω_m
T*_0
T*
5
51
52
53 P_n^-1(s)
54
T_f
61 P_n(s)
6
60 G_n(s)
62
63
64
65
ω_o
ω_p
ω_f
C(s)

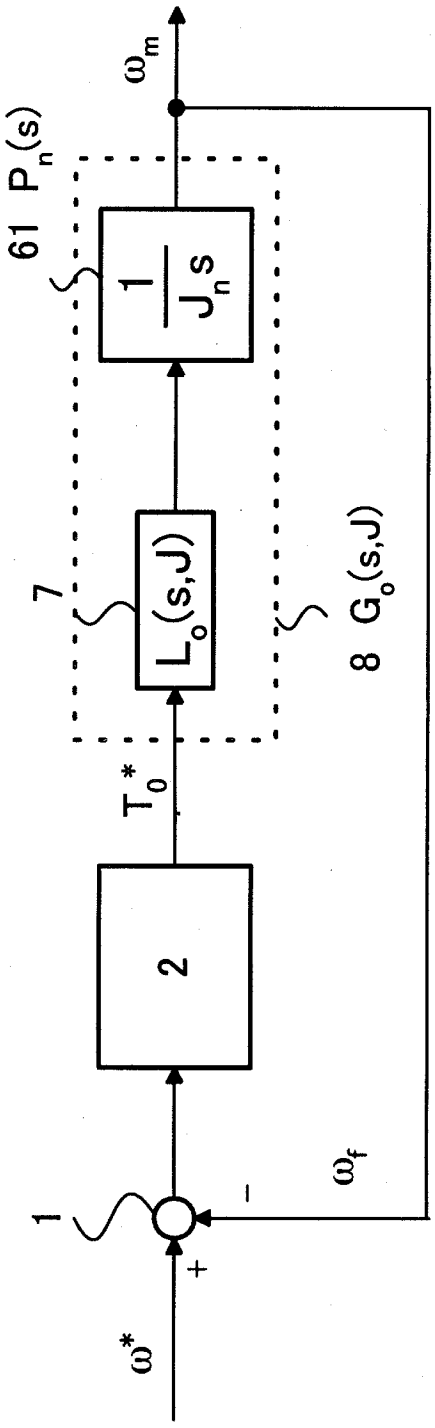
[図2]


ω*
ω_m
ω_f
T*_0
T*
T_f
ω_p
ω_o
1
2
4 P(s)
5
6
51
52
53 P_n^{-1}(s)
54
60 G_n(s)
61 P_n(s)
62
63
64
65
L_1(s)
L_2(s)
C(s)

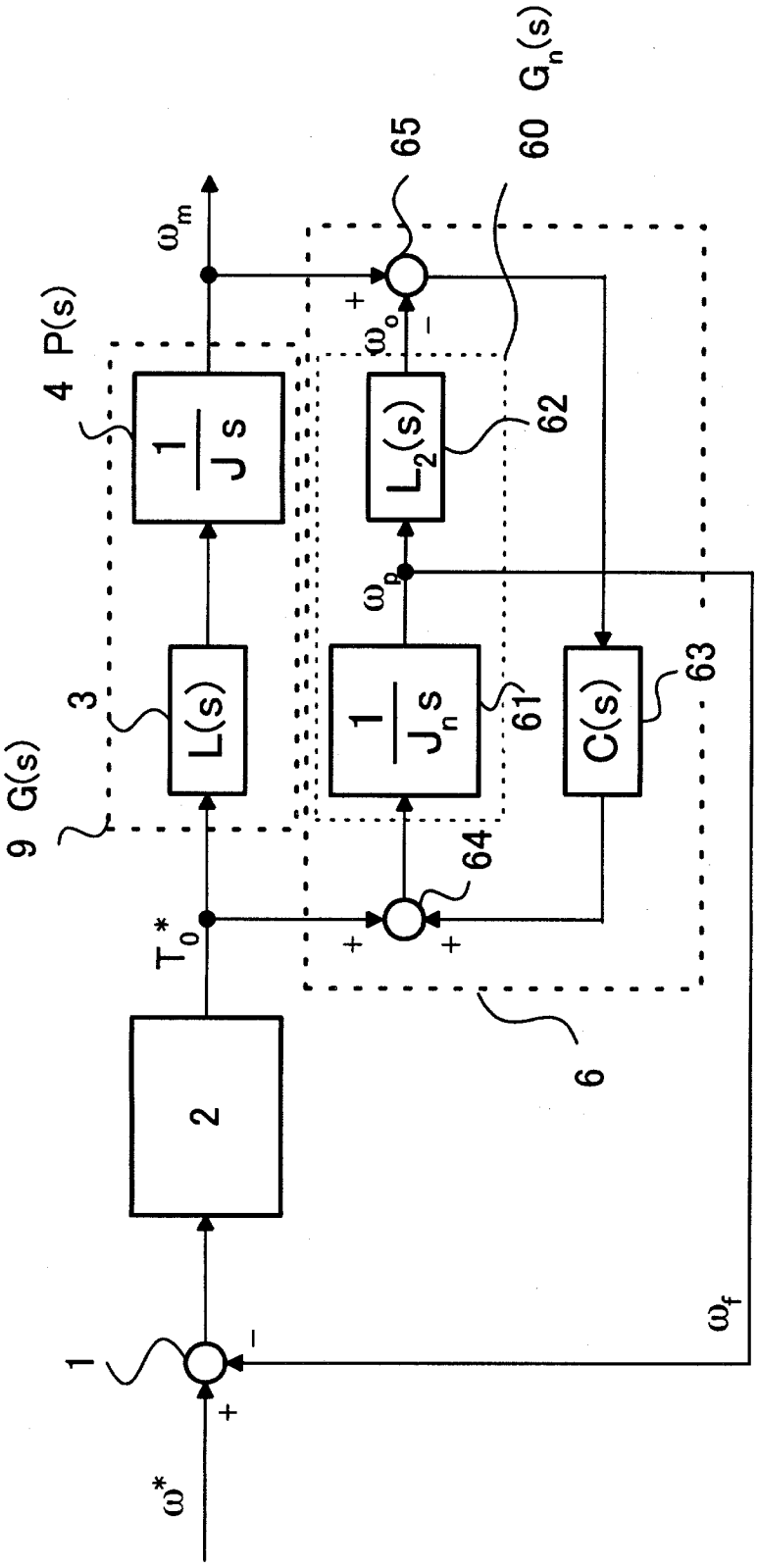
[図3]


ω_m
ω^*
ω_f
T^*
T_0^*
T_f
4 P(s)
$\frac{1}{Js}$
$J_n s$
$L_1(s)$
$P_n^{-1}(s)$
1
2
5
51
52
53
54
+
-

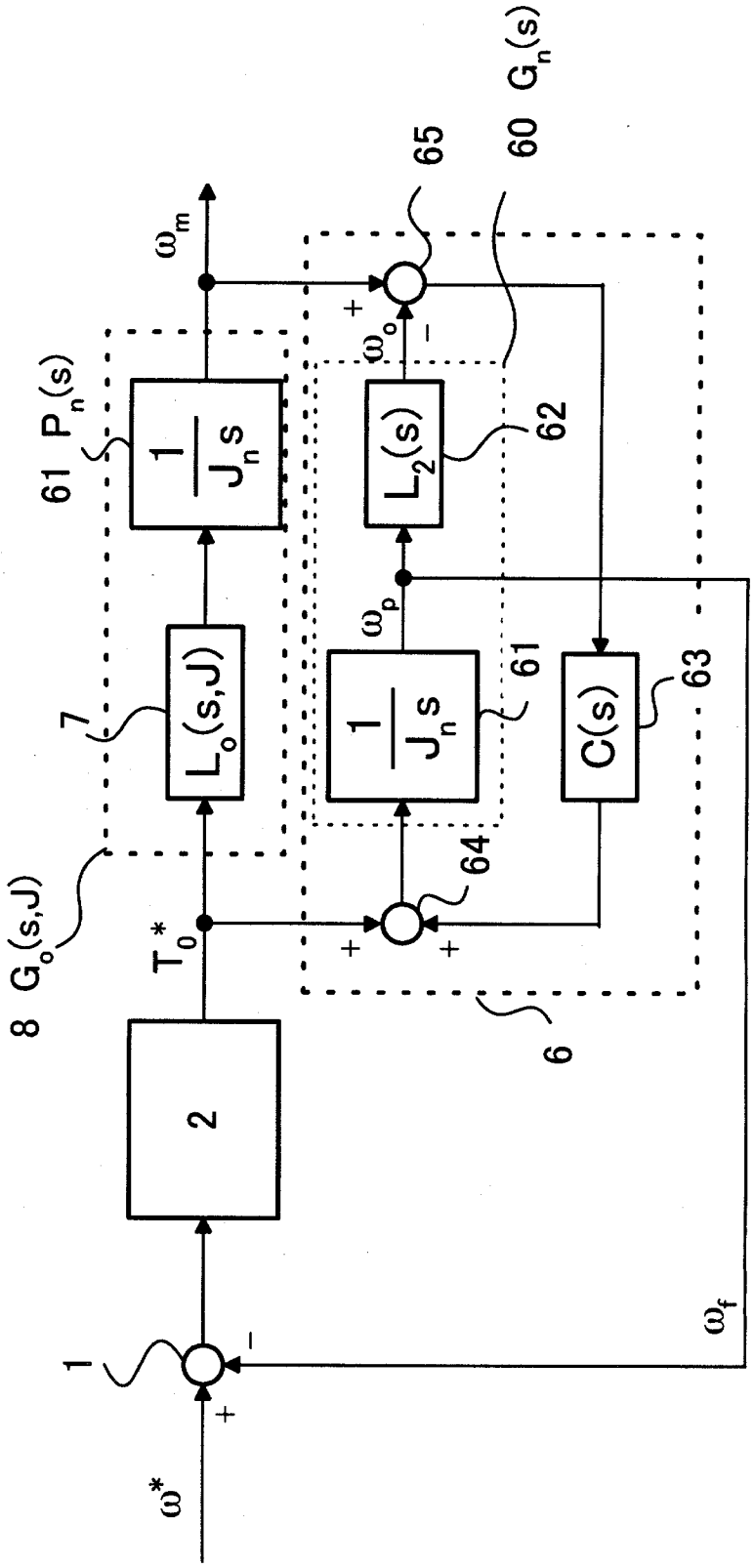
[図4]



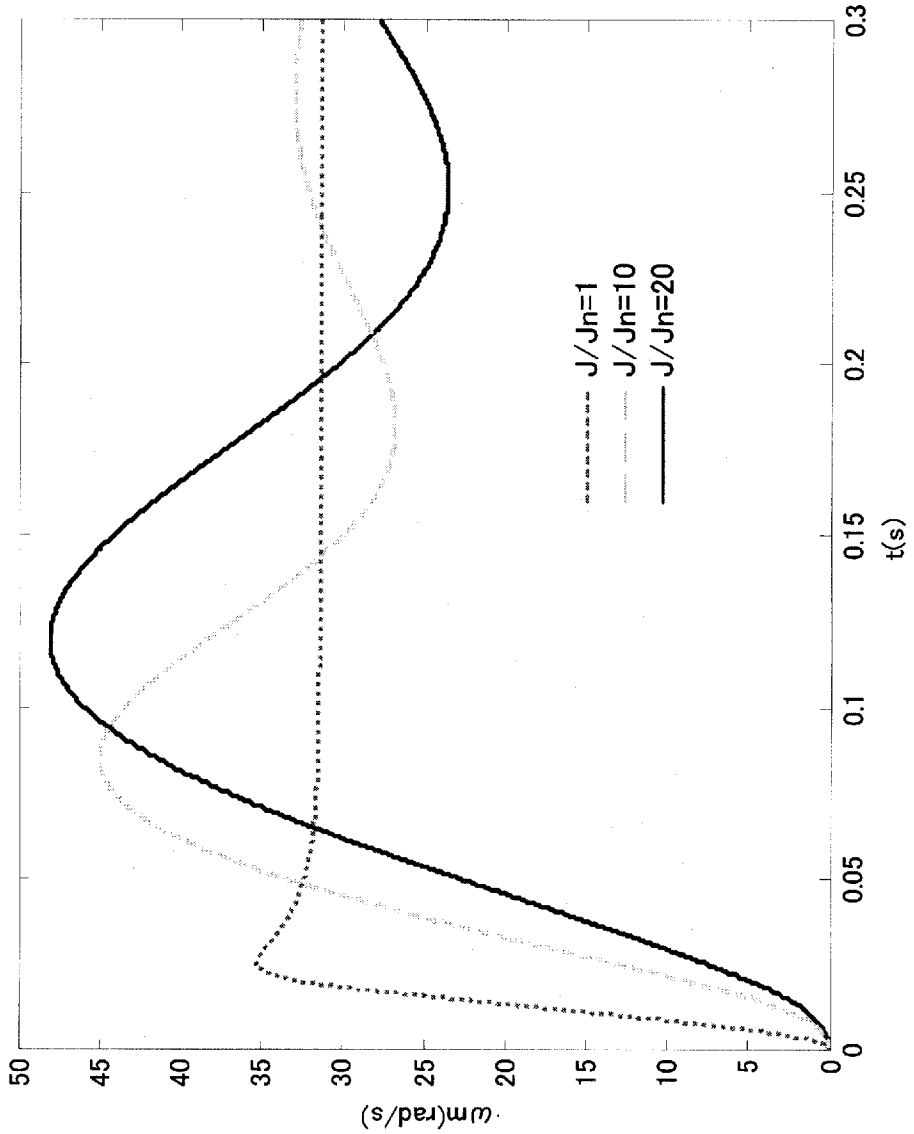
[図5]


ω*
1
+
−
2
T0*
+
+
3
L(s)
4 P(s)
1/Js
9 G(s)
ωm
+
−
ωo
ωB
L2(s)
62
1/Jns
61
64
C(s)
63
65
60 Gn(s)
6
ωf

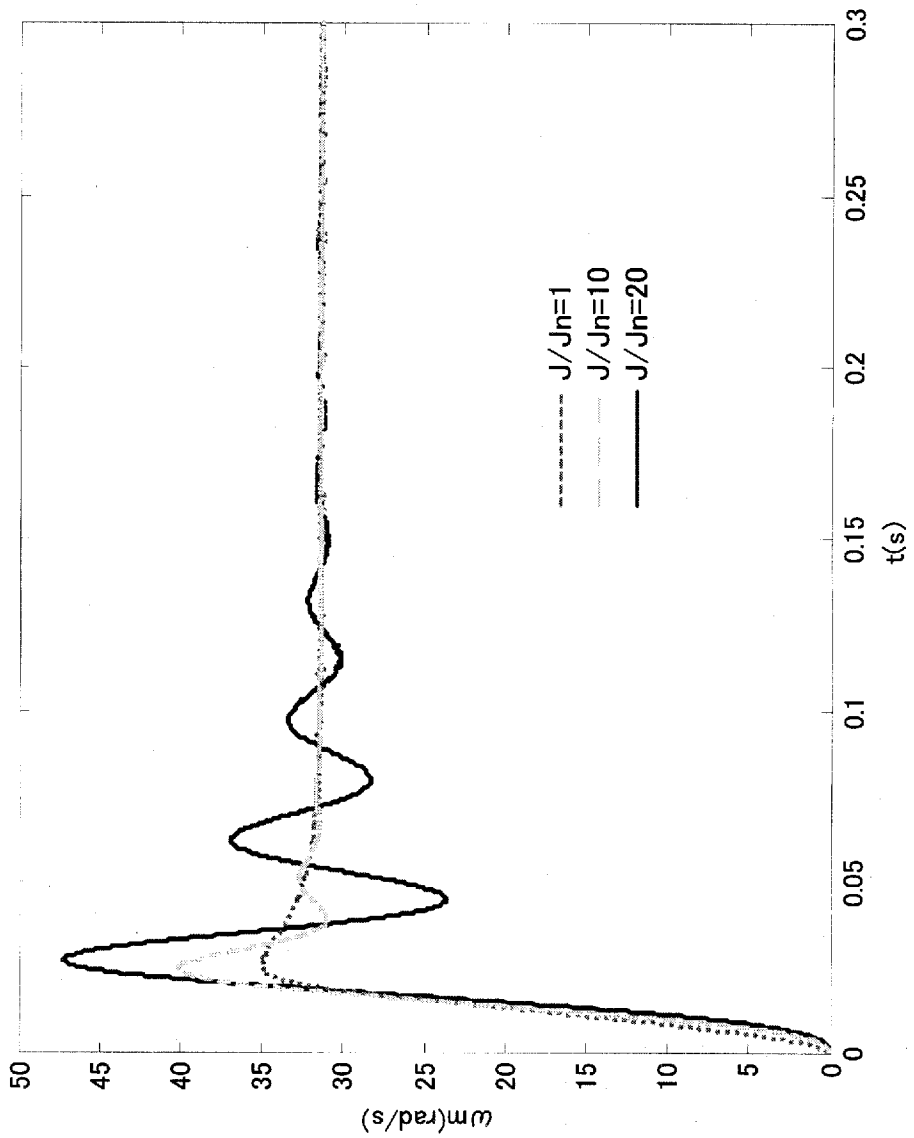
[図6]


ω_m
ω_o
ω_p
ω_f
ω^*
T_0^*
$P_n(s)$
$G_n(s)$
$G_o(s,J)$
$L_o(s,J)$
$L_2(s)$
$C(s)$
$\frac{1}{J_n s}$
1
2
6
7
8
60
61
62
63
64
65
+
−

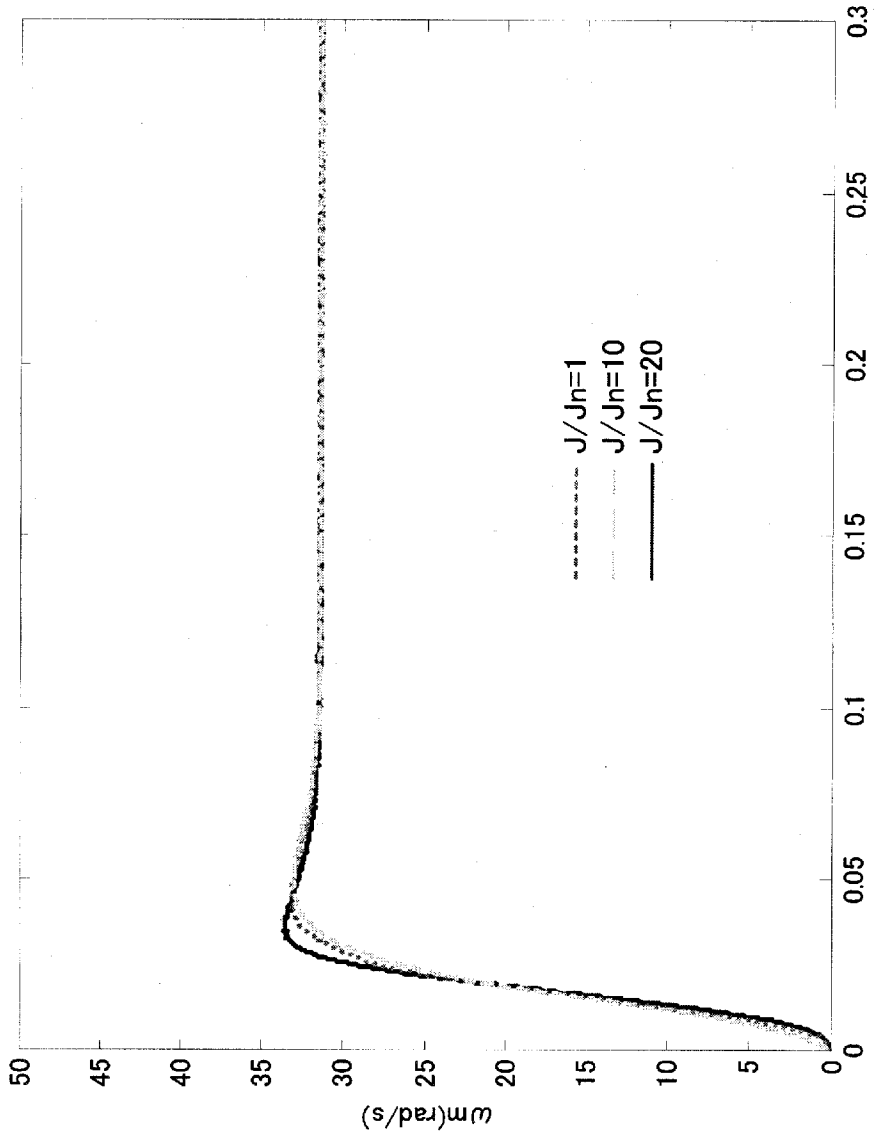
[図7]


ωm(rad/s)
t(s)
J/Jn=1
J/Jn=10
J/Jn=20
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3

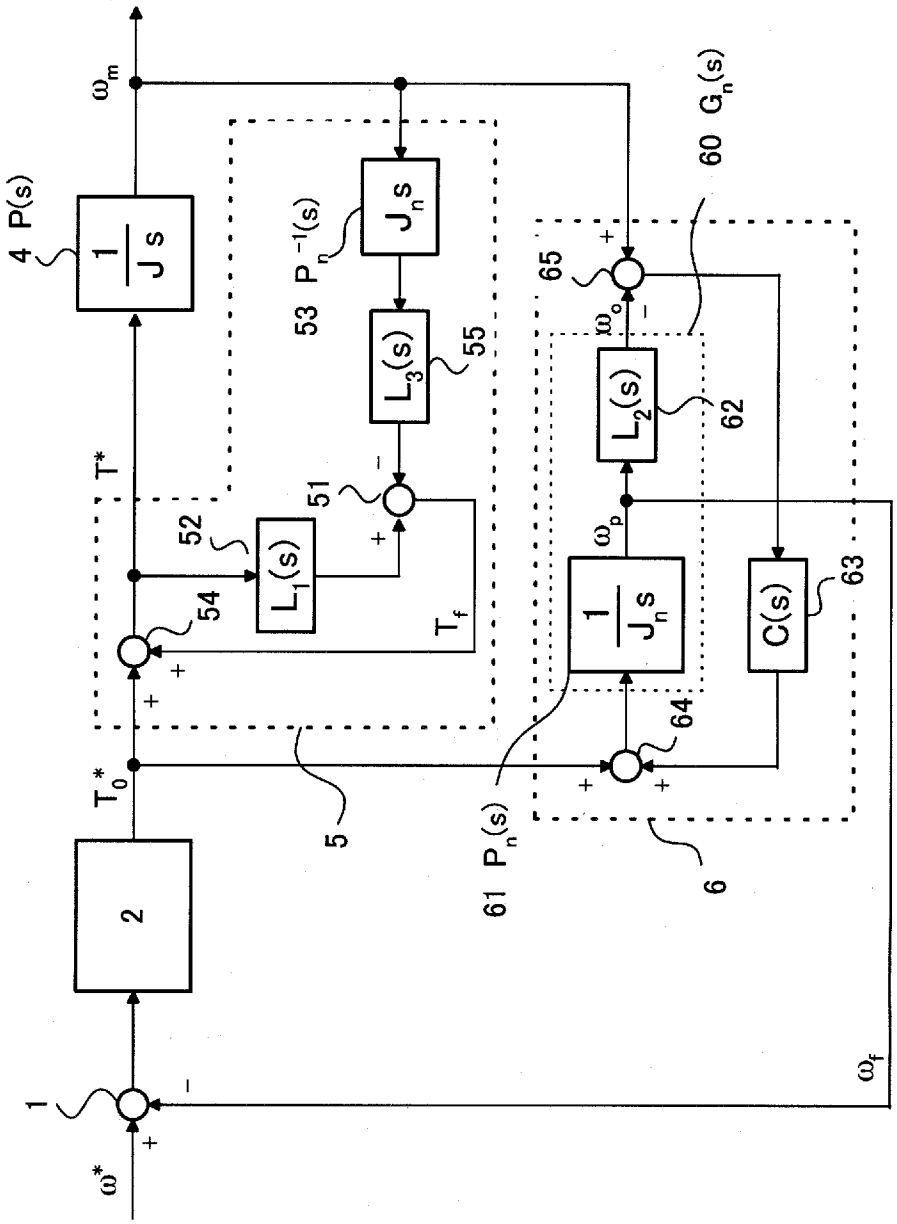
[図8]


J/Jn=1
J/Jn=10
J/Jn=20
ωm(rad/s)
t(s)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3

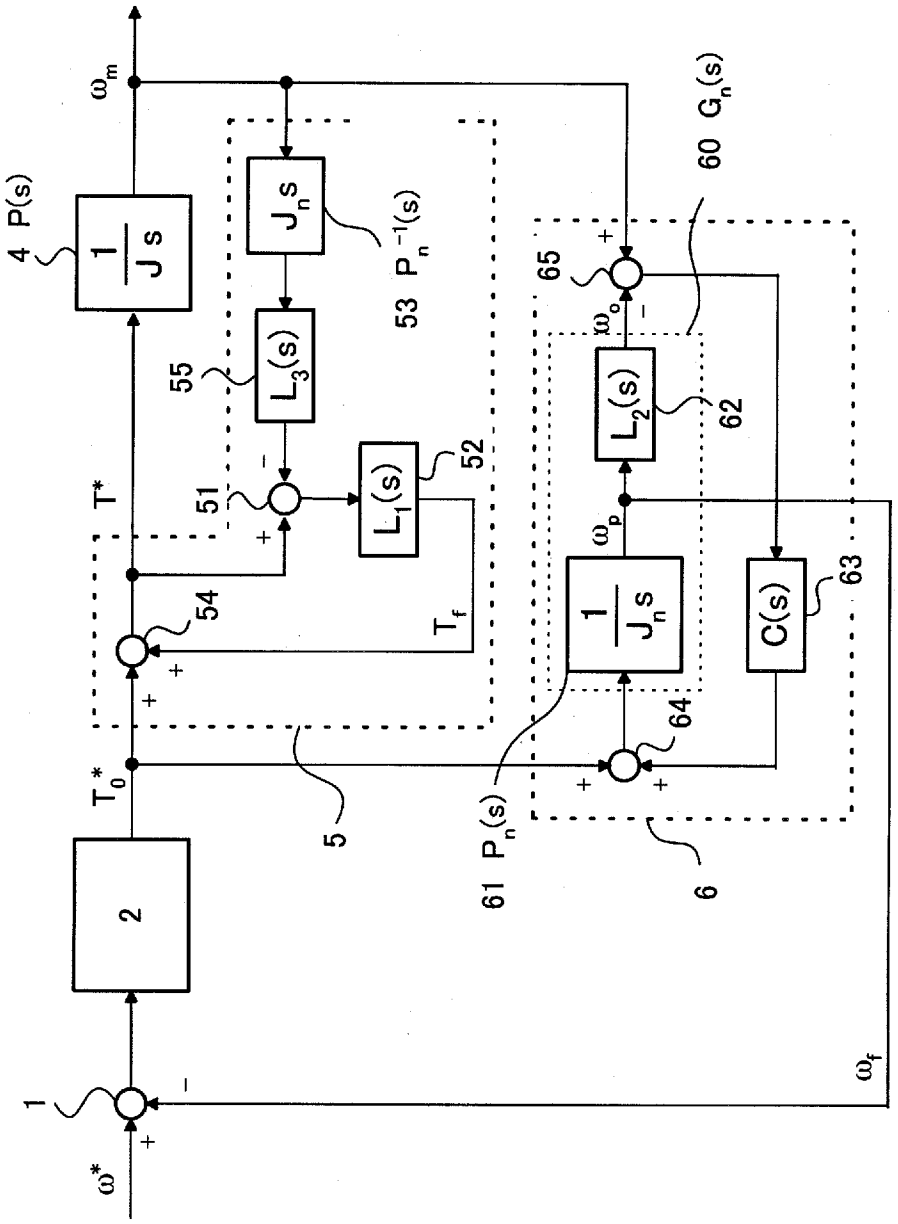
[図9]


ωm(rad/s)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
J/Jn=1
J/Jn=10
J/Jn=20

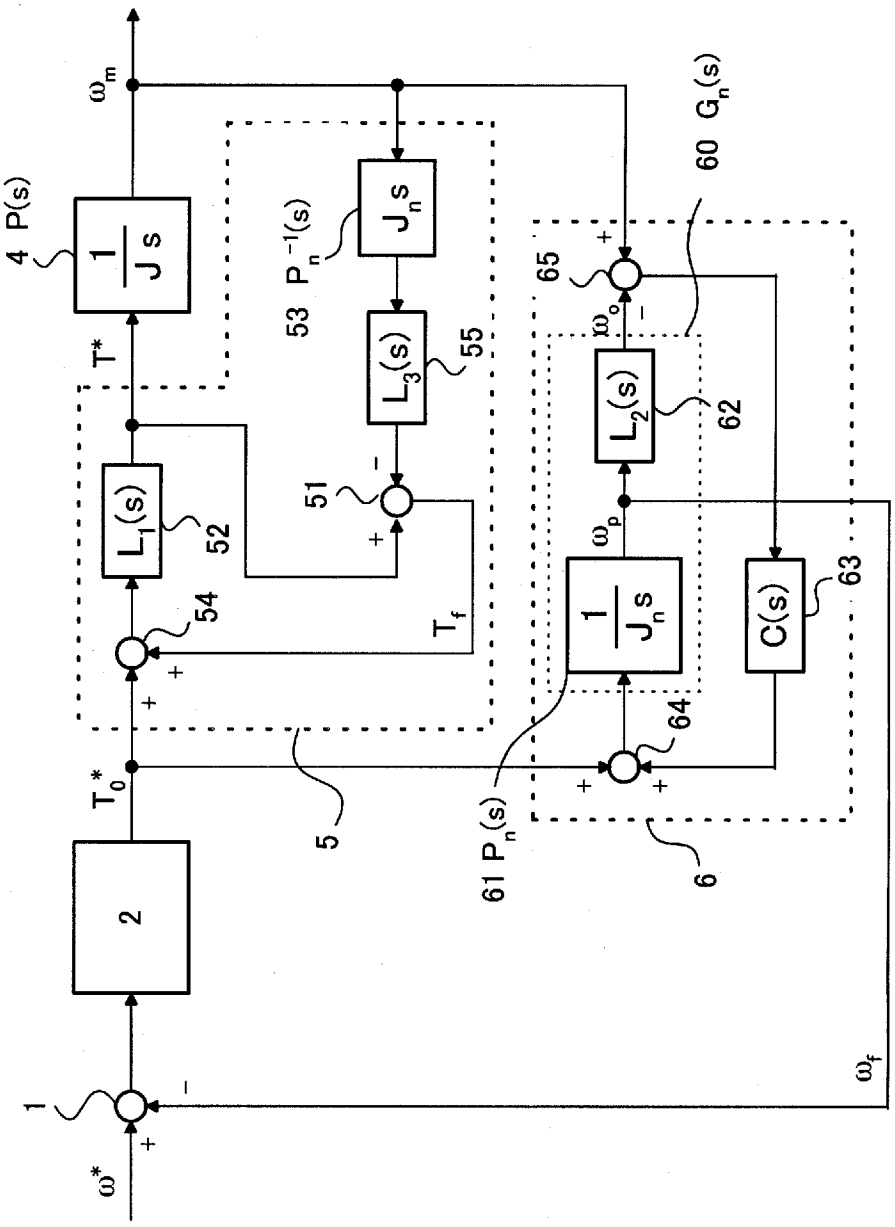
[図10]


ω_m
4 P(s)
1/Js
J_n s
53 P_n^{-1}(s)
L_3(s)
55
60 G_n(s)
65
ω_o
L_2(s)
62
T*
52
51
L_1(s)
54
T_f
ω_p
1/J_n s
C(s)
63
64
T_0*
5
61 P_n(s)
6
2
1
ω*
ω_f

[図11]


ω_m
4 P(s)
1/Js
J_n s
53 P_n^{-1}(s)
55
L_3(s)
51
52
L_1(s)
T*
54
T_f
T_0*
5
2
1
ω*
60 G_n(s)
65
ω_o
L_2(s)
62
ω_p
1/J_n s
C(s)
63
64
61 P_n(s)
6
ω_f

[図12]


ωm
4 P(s)
1/Js
T*
T0*
2
1
ω*
+
-
53 Pn-1(s)
Jns
L3(s)
55
51
L1(s)
52
54
Tf
5
60 Gn(s)
65
ωo
L2(s)
62
ωp
1/Jns
C(s)
63
64
61 Pn(s)
6
ωf

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2007/051010

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02P29/00(2006.01)i, *G05B11/36*(2006.01)i, *G05B13/02*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02P29/00, G05B11/36, G05B13/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2005/093939 A1 (Yaskawa Electric Corp.), 06 October, 2005 (06.10.05), Full text; all drawings & KR 20060127233 A	1-11
Y	JP 2003-33066 A (Yaskawa Electric Corp.), 31 January, 2003 (31.01.03), Full text; all drawings & US 2004/0239280 A1 & WO 2003/010880 A1	1-11
Y	Koji YAMADA et al., "Gairan Observer no Kojisuka to Robust Anteisei ni Kansuru Kosatsu", The Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan C, 1997, Vol.117-C, No.12, pages 1776 to 1781	2-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
09 March, 2007 (09.03.07)	20 March, 2007 (20.03.07)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００７／０５１０１０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P29/00(2006.01)i, G05B11/36(2006.01)i, G05B13/02(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P29/00, G05B11/36, G05B13/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００７年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Ｙ	ＷＯ　２００５／０９３９３９　Ａ１（株式会社安川電機） ０６．１０．２００５，全文、全図 ＆　ＫＲ２００６０１２７２３３　Ａ	1-11
Ｙ	ＪＰ　２００３－３３０６６　Ａ（株式会社安川電機） ３１．０１．２００３，全文、全図 ＆　ＵＳ　２００４／０２３９２８０　Ａ１ ＆　ＷＯ　２００３／０１０８８０　Ａ１	1-11

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０９．０３．２００７	２０．０３．２００７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｖ　９８１９
梶本　直樹
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５８

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Ｙ	山田耕嗣，他３名，外乱オブザーバの高次数化とロバスト安定性に関する考察，電気学会論文誌Ｃ，１９９７，第１１７－Ｃ巻，第１２号，ｐ．１７７６－１７８１	2-11